
Summary

Elektro(nik)-Geräte beinhalten zahlreiche wertvolle Bestandteile sowie umweltrelevante Stoffe. Diese waren es auch, auf die sich die bisherige Behandlung von Elektro(nik)-Geräten meist beschränkte. Weniger lukrative Fraktionen wie Kunststoffe blieben auf der Strecke und wurden entsorgt oder „nur“ energetisch verwertet. Für den Stoffkreislauf gingen sie so unwiederbringlich verloren. Durch neue Gesetze wie die WEEE-Richtlinie oder ihre nationale Umsetzung in Deutschland in der ElektroG findet ein Wandel statt. Die Hersteller von Elektro(nik)-Geräten und indirekt auch die beauftragten Verwertungsunternehmen sind verpflichtet, die vorgeschriebenen Verwertungsquoten sowie die hohen Recyclingquoten zu erfüllen, wenn sie Sanktionen von sich abwenden wollen. Daher kommt vor allem der stofflichen Verwertung der Kunststoffe eine neuerliche Beachtung zu, ohne die eine Erfüllung der Quoten meist nicht möglich wäre.

Ziel dieser Arbeit war die Entwicklung einer Berechnungsformel für die Ermittlung von Verwertungsquoten für Elektro(nik)-Produkte und deren Realisierung in einem Prototypen innerhalb der bestehenden CfP-Lösung der TechniData AG. Damit soll zum einen bezweckt werden, dass Entwickler bereits in der Entwicklungsphase eines Elektro(nik)-Produkts dessen spätere Recyclingfähigkeit abschätzen können und damit maßgeblich den Grundstein für die Einhaltung der gesetzlichen Anforderungen am Ende seines Lebenszyklus legen. Zum anderen können so Nachweise für Lieferanten an ihre Kunden erbracht werden, dass diese für ihr Lieferanteil die gesetzlichen Anforderungen erfüllen bzw. die Verwertung nicht durch Beinhaltung gewisser Stoffe negativ beeinflussen. Die Kenntnis über die Verwertungsquoten der Bestandteile des Produkts ermöglichen es den Herstellern vor allem im B2B-Bereich die Preisverhandlungen mit den Verwertern zu ihren Gunsten zu beeinflussen, da bspw. die Erträge der Verwertungsunternehmen durch den lukrativen Bestandteilen wie Edelmetalle abgeschätzt werden können. Aus diesem Grunde wird eine Substanzentabelle während der Kalkulation gepflegt, die alle für das Verwertungsquotenergebnis berücksichtigten Reinstoffe und Werkstoffe mit ihrer Gewichtsangabe sowie ihr zugehöriges Quotenergebnis enthält.

Das Berechnungsmodell für Verwertungsquoten auf dem Gebiet der Elektro(nik)-Produkte, das in dieser Diplomarbeit erarbeitet wurde, soll später auch auf andere Branchen wie die Automobilindustrie bspw. übertragbar sein.

Bei der Untersuchung der vier ausgewählten Berechnungsmodelle stellte sich heraus, dass sich die Grundformel bei allen im Prinzip ähnelt. Allerdings gab es Unterschiede bei den anrechenbaren Input- und Outputmengen der Verwertungsanlagen. Während die einen die Inputmenge gleich der Outputmenge von Verwertungsanlagen setzten, führten andere Koeffizienten ein, um den bei der Verwertung zweifelsohne auftretenden Verlust an Materialien darzustellen, wodurch die Outputmenge entsprechend geringer ausfällt. Unter anderem entschied die Tatsache, dass Koeffizienten eine realitätsnähere Darstellung ermöglichen, die Auswahl für das untersuchte Koeffizientenmodell. Zudem stellt es die wohl flexibelste Lösung dar, zumal mit einem Koeffizienten von eins und einigen wenigen Bedingungen bezüglich der zugeordneten Verfahren die ausgewählte Formel auch das IPA-Modell mit Positivliste darstellen kann. Dem kommt insofern eine wichtige Rolle zu, als bis heute noch nicht geklärt ist, wie eigentlich das Monitoring der Stoffströme bezogen auf die WEEE stattfinden soll. Nach Einschätzung vom IPA Fraunhoferinstitut wird es zumindest für Deutschland auf eine Mischform aus Koeffizientenmodell und IPA-Modell mit Positivliste der Verfahren hinauslaufen.

Neben der durch das CfP bereitgestellten Produktstruktur sind natürlich noch weitere Parameter für die Berechnung zu pflegen. Diese reichen von der Zuordnung wichtiger Bestandteile für die Berechnung zu Recyclinggruppen über Recyclingverfahren, in Verkehr bringendes Land und Verwerter bis hin zu der Pflege der Koeffizienten in einer Tabelle - in Abhängigkeit verschiedener Parameter. Für eine erfolgreiche Berechnung gilt es gewisse Bedingungen einzuhalten, bspw. die Zuweisung einer Produktkategorie zu einem Produkt. Infolge der Produktkategorie ist es erst möglich, die zu erfüllenden Verwertungsquoten für das spätere Complianceergebnis gemäß WEEE zu ermitteln.

Der Prototyp für die Kalkulation der Quoten ist als eine weitere Prüfung in die Compliance-Workbench eingebunden und von dieser aus ausführbar.

Der Berechnungsalgorithmus erfolgt aufgrund einer Iteration der Produktstruktur von unten nach oben, das bedeutet, dass zuerst der Versuch der Berechnung auf unterster Produktstrukturebene (Reinstoffe) durchgeführt wird. Bei geglückter Berechnung, d. h. die entsprechenden Parameter und Koeffizienten waren bereits auf dieser Ebene gepflegt und die Quote somit berechenbar, wird das Ergebnis (Complianceergebnis „erfolgreich“/„nicht erfolgreich“) anhand des Vergleichs der Ist- und Soll-Quoten bestimmt. Für die weitere Kalkulation des Gesamtergebnisses

werden die berechneten Quoten und der Status „berechnet“ nach oben übergeben, wo diese ggf. mit den von den anderen „Kindern“ übergebenen Werten anteilmäßig aufsummiert und wiederum gegen die Soll-Quoten geprüft werden. Dies wiederholt sich so lange, bis das eigentliche Produkt erreicht ist.

Ist die Berechnung allerdings nicht geglückt, d. h. es waren bspw. keine Koeffizienten in der Koeffiziententabelle für diese Konstellation gepflegt, wird das Complianceergebnis „Daten fehlen“ sowie der Status „versucht zu berechnen“ vergeben und zu seinem Elternteil hochgesprungen. Für dieses wird nun ein erneuter Versuch der Berechnung gestartet, wenn all seine Kinder ihm den Status „versucht zu berechnen“ zurückgeliefert haben. Ansonsten erfolgt wie bereits beschrieben eine Aufsummierung der Daten, wobei das Kind mit Status „versucht zu berechnen“ als nicht verwertet angerechnet wird.

Die im SAP und CfP zur Verfügung gestellten Alternativen wie alternative Lieferanten, Stücklisten oder Werkstoffe erschweren den Algorithmus ungemein. Sind den Alternativen keine Bevorzugungskennzeichen zugeordnet, so sind die zur Auswahl stehenden zu berechnen und die mit dem schlechtesten Verwertungsquotenergebnis auszuwählen. Das Schreiben der ausgewählten Reinstoffe und Werkstoffe mit ihren Verwertungsquoten und Gewichtsanteilen in die Substanzentabelle erschwert die Alternativenbehandlung nochmals, indem nur die der ausgewählten Alternativen zu berücksichtigen sind.

Ausgehend von den berechneten Ergebnissen können Optimierungen durch Auswahl anderer Verfahren oder Alternativen durchgeführt werden oder aber Reports an Hersteller, Kunden oder Behörden erstellt werden.

Die anhand einer weiteren Prüffunktion in CfP integrierte Kalkulationsmethode stellt ein realitätsnahes und flexibles Verwertungsquotenmodell dar. Allerdings muss hier darauf hingewiesen werden, dass die alleinige Betrachtung der Verwertungsquoten nicht unbedingt ökologisch sinnvoll ist. Es bedarf vielmehr der Gesamtbetrachtung des Produktlebenszyklus, um nicht durch die Optimierung des Recyclings bspw. Verschlechterungen in anderen Lebensphasen des Produkts hervorzurufen. Dies bedeutet, dass Umweltbelastungen nicht einfach von einer Lebenszyklusphase auf eine andere verlagert werden dürfen. Stellt man bspw. Teile eines Autos wegen des leichteren Recyclings nicht aus Kunststoff sondern aus Metall her, so kann es zu erhöhten Umweltschädigungen durch erhöhten Benzinverbrauch in der Nutzungsphase kommen. Die EU verabschiedete im Juli 2005 die dies betreffende

Richtlinie 2005/32/EG für die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energiebetriebener Produkte (EUP – Directive on Eco Design of Energy-using Products). Diese beinhaltet, dass bei bestimmten Produktgruppen die Hersteller selbstständig ökologische Beurteilungen durchführen müssen und lenkt den Fokus auf die Betrachtung und Optimierung der Auswirkungen eines Produkts auf die Umwelt über dessen kompletten Lebensweg.

Ökobilanzen sind hierfür das umfassende Schlagwort. Sie erfassen die Stoffströme und Energieströme entlang des gesamten Produktlebenszyklus, um sie später hinsichtlich ihrer potentiellen Umweltauswirkung zu bewerten. Prinzipiell könnte für die Entsorgungsphase die vorgestellte Kalkulationsmethode Teilergebnisse für diesen Bereich liefern und somit erneuten Einsatz finden.